



19 BUNDESREPUBLIK

DEUTSCHLAND



DEUTSCHES

PATENTAMT

# Offenlegungsschrift

## DE 196 50 762 A 1

51 Int. Cl. 6:

H 01 L 29/74

H 01 L 21/26

DE 196 50 762 A 1

21 Aktenzeichen: 196 50 762.6  
22 Anmeldetag: 6. 12. 96  
43 Offenlegungstag: 2. 7. 98

66 Innere Priorität:  
196 40 313. 8 30. 09. 96

71 Anmelder:  
Eupec GmbH & Co. KG., 59581 Warstein, DE  
74 Vertreter:  
Epping, W., Dipl.-Ing. Dr.-Ing., Pat.-Anw., 82131  
Gauting

72 Erfinder:  
Erfinder wird später genannt werden

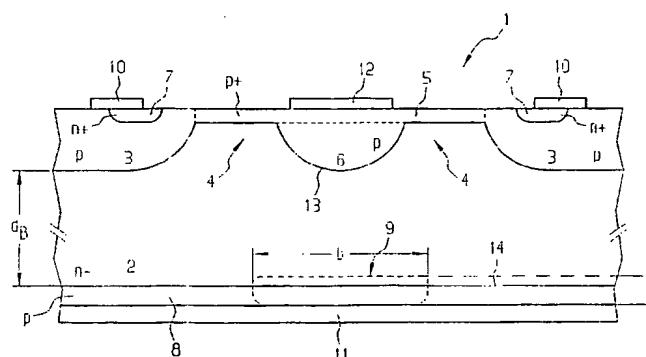
56 Entgegenhaltungen:  
DE 42 15 378 C1  
GB 15 74 658  
US 52 43 205  
EP 3 43 369 A1

### Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

Prüfungsantrag gem. § 44 PatG ist gestellt

#### 54 Thyristor mit Durchbruchbereich

57 Die Erfindung betrifft einen Thyristor bestehend aus einem Halbleiterkörper (1) mit einer anodenseitigen Basiszone (2) vom ersten Leitungstyp und mindestens einer katodenseitigen Basiszone (3) vom entgegengesetzten, zweiten Leitungstyp, mit anodenseitigen und katodenseitigen Emitterzonen (7, 8), mit mindestens einem Bereich (6) in der katodenseitigen Basiszone (3), der durch seine Geometrie eine gegenüber den übrigen Bereichen der katodenseitigen Basiszone (3) und dem Rand des Halbleiterkörpers (1) verminderte Durchbruchspannung aufweist. Anodenseitig weist der Thyristor unterhalb des Bereichs verminderter Durchbruchspannung (6) mindestens eine Rekombinationszone (9) mit verminderter Lebensdauer der freien Ladungsträger auf.



DE 196 50 762 A 1

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Thyristor, bestehend aus einem Halbleiterkörper

mit einer anodenseitigen Basiszone vom ersten Leitungstyp und mindestens einer katodenseitigen Basiszone vom entgegengesetzten, zweiten Leitungstyp, mit anodenseitigen und katodenseitigen Emitterzonen.

mit mindestens einem Bereich in der katodenseitigen Basiszone, der durch seine Geometrie eine gegenüber den übrigen Bereichen in der katodenseitigen Basiszone und dem Rand des Halbleiterkörpers verminderte Durchbruchsspannung aufweist.

In Hochspannungsanlagen sind im allgemeinen mehrere Thyristoren in Reihe geschaltet. Diese müssen stets gleichzeitig gezündet werden. Zündet einer der Thyristoren später, so liegt an ihm nahezu die gesamte Spannung an und der Thyristor wird zerstört. Man ist daher bemüht, Thyristoren zu entwickeln, die "über Kopf" gezündet werden können. Solche Thyristoren haben in der Regel einen zentralen Bereich, der eine gegenüber dem übrigen Bereich und dem Rand niedrigere Durchbruchsspannung hat. Steigt die Spannung am Thyristor an, so geht dieser Bereich in den Lawindurchbruch und der Durchbruchstrom kann den Thyristor direkt oder über einen oder mehrere Hilfsthystistorstrukturen zünden.

Der Durchbruchbereich kann zum Beispiel dadurch erzeugt werden, daß die katodenseitige Basiszone eine Aussparung hat, innerhalb der an der Oberfläche des Halbleiterkörpers eine dünnere Schicht des gleichen Leitungstyps angeordnet ist. Der pn-Übergang zwischen der anoden- und katodenseitigen Basiszone hat dann beim Übergang von der Waagerechten in die Aussparung einen definierten Krümmungsradius, an dem eine gegenüber einem ebenen pn-Übergang höhere Feldstärke auftritt. An der Krümmung kommt es daher vorzugsweise zu einem Durchbruch des Thyristors. Eine gattungsgemäße Struktur ist zum Beispiel in dem Artikel "Design consideration for high-power, overvoltage self-protected thyristor" von Ohashi, Yoshida, Yamaguchi, Akagi, veröffentlicht in IPEC-Tokyo 1983, Seiten 550-558, insbesondere anhand von **Fig. 1b** beschrieben worden.

Die Durchbruchseigenschaften des genannten Bereichs hängen von der Form des pn-Übergangs der katodenseitigen Basiszone ab. In DE 42 15 378 C1 (EP 0 572 826 A1) ist ein weiterer gattungsgemäßer Thyristor mit Bereichen verminderter Durchbruchsspannung angegeben. Diese Bereiche verminderter Durchbruchsspannung sind sehr wirksam und gut reproduzierbar.

Dort ist die Überkopfzündspannung von Thyristoren mit integriertem Überspannungsschutz jedoch stark temperaturabhängig. Gründe hierfür sind zum einen die mit der Temperatur zunehmende Durchbruchsspannung und die mit der Temperatur steigende Emitter-Kollektor-Verstärkung  $\alpha_{pnp}$ . Bei hohen Temperaturen verstärkt die Transistorverstärkung  $\alpha_{pnp}$  den Sperrstrom in der Weise, daß es zur vorzeitigen Zündung des Thyristors bei niedrigeren Überkopfzündspannungen als vorgesehen kommt. Dies kann zum unbeabsichtigten vorzeitigen Zünden des Thyristors führen.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, einen Thyristor der eingangs genannten Art derart weiterzubilden, daß die Überkopfzündspannungen des Thyristors im Temperaturbereich des Thyristorbetriebs weitgehend temperaturunabhängig ist.

Die Aufgabe wird gelöst durch den kennzeichnenden Teil

des Patentanspruchs 1. Insbesondere sind hier anodenseitig unterhalb der Zone verminderter Durchbruchsspannung Rekombinationszentren vorgesehen, die die Lebensdauer der freien Ladungsträger herabsetzen.

5 Die Ausgestaltung der Rekombinationszone ist Bestandteil der Patentansprüche 2 bis 6. Die Rekombinationszone besteht dabei im wesentlichen aus Defekten, die durch Bestrahlung mit nichtdotierenden, hochenergetischen Teilchen erzeugt werden. Bei den Defekten handelt es sich üblicherweise um Frenkel-Defekte beziehungsweise Schottky-Defekte, die bei Bestrahlung des Halbleiterkörpers mit  $\alpha$ -Teilchen oder Protonen erzeugt werden. Es sind aber auch andere Defekte denkbar. Für die Bestrahlung wird eine relativ geringe Dosis von  $10^{10}$  bis  $10^{12} \text{ cm}^{-2}$  angesetzt, da der Kristall durch die Bestrahlung nicht zu stark geschädigt werden soll.

Die Patentansprüche 7 und 8 spezifizieren die Geometrie der Thyristorstrukturen, insbesondere der Zonen mit verminderter Durchbruchsspannung. Die katodenseitigen Basis- und Emitterbereiche sind vorteilhafterweise in der Ebene der Oberfläche kreisförmig ausgebildet und bilden einen Ringthyristor.

In einer Weiterbildung gemäß Patentanspruch 9 ist an der Oberfläche zwischen der Basiszone und dem Bereich verminderter Durchbruchsspannung eine weitere Zone vorgesehen, welche die Oberfläche des Thyristors vor Oberflächenladungen schützt. Diese Zone ist entsprechend höher dotiert als die Basiszone und die Zone verminderter Durchbruchsspannung.

25 30 Patentanspruch 15 ist auf ein bevorzugtes Verfahren zur Herstellung der erfindungsgemäßen Rekombinationszone gerichtet.

Die Erfindung wird anhand der in den Figuren der Zeichnung dargestellten Ausführungsbeispiele näher erläutert. Es zeigt:

35 **Fig. 1** einen Teilschnitt eines erfindungsgemäßen Thyristors mit anodenseitiger Rekombinationszone;

**Fig. 2** die Überkopfzündkennlinie für eine Thyristor

40 (a) ohne Rekombinationszone (nach DE 42 15 378 C1)  
(b) und mit Rekombinationszone an der Scheibenrückseite.

45 **Fig. 3** einen lichtzündbaren Thyristor mit integriertem BOD- und dU/dt-Schutz im Querschnitt;

**Fig. 4** die dem Überspannungsschutz dienende BOD-Struktur des Thyristors gemäß **Fig. 3**;

50 **Fig. 5** die mit Hilfe eines Simulationsprogramms berechnete Temperaturabhängigkeit der BOD-Spannung für drei unterschiedlich aufgebaute Thyristoren.

## 1. Ausführungsbeispiel

55 **Fig. 1** zeigt einen Teilschnitt durch einen erfindungsgemäßen Thyristor. Ein Halbleiterkörper 1, beispielsweise eine Siliziumscheibe, enthält eine n<sup>-</sup>-dotierte anodenseitige Basiszone 2. Katodenseitig schließt sich eine p-dotierte Basiszone 3 an. Die Basiszone 3 enthält eine Aussparung 4. In der Aussparung 4 ist an der Oberfläche des Halbleiterkörpers 1 eine dünne p<sup>+</sup>-dotierte Schicht 5 angeordnet, die mit der Basiszone 3 verbunden ist. In der Aussparung 4 ist außerdem eine zusätzliche Zone 6 des gleichen Leitungstyps wie die katodenseitige Basiszone 3 angeordnet. Die zusätzliche Zone 6 ist mit der dünnen Schicht 5 verbunden und hat allseitig einen Abstand vom Rand der Aussparung 4, d. h. von der Basiszone 3. Die zusätzliche Zone 6 hat die Form eines Kugelschnittes, wobei die Schnittebene an die dünne

60 65

Schicht 5 angrenzt. Vorzugsweise ist die dünne Schicht 5 sehr viel höher dotiert als die Basiszone 3 und die zusätzliche Zone 6. Die Form der Bereiche 4, 5, 6 ist aber nicht zwingend. Wesentlich ist jedoch, daß die zusätzliche Zone 6 von der Innenzone 2 gesehen mindestens teilweise konkav ist. Durch seine Form weist die zusätzliche Zone 6 eine gegenüber den übrigen Bereichen in der katodenseitigen Basiszone 3 und dem Rand des Halbleiterkörper 1 verminderte Durchbruchsspannung auf.

Kathodenseitig sind in der Basiszone 3  $n^+$ -dotierte Emitterzonen 7 eingebettet, die beispielsweise die Hilfsemitterzonen von Hilfsthryristoren sein können. Die Emitterzonen 7 werden durch Emittorelektroden 10 kontaktiert. Außerdem kontaktieren die Emittorelektroden 10 an der Außenseite auch die Basiszone 3. Die dünne Schicht 5 wird im Bereich der zusätzlichen Zone 6 an der Oberfläche von einer Gateelektrode 12 kontaktiert.

Vorzugsweise sind die katodenseitige Basiszone 3 und die Emitterzone 7 sowie die dünne Schicht 5 und die zusätzliche Zone 6 in der Ebene der Oberfläche des Halbleiterkörpers 1 kreisförmig oder kreisringförmig ausgebildet. Der erfindungsgemäße Thyristor ist vorzugsweise ein Ringthyristor. Die dargestellten Formen der oben genannten Zonen und Schichten 3, 5, 6, 7 ist jedoch nicht zwingend. Sie können auch von der Kreisform bzw. Kreisringform abweichen und beispielsweise polygonal ausgeformt sein.

Die oben beschriebenen Zonen bzw. Schichten können entsprechend DE 42 15 378, insbesondere Fig. 1, ausgebildet sein. In DE 42 15 378 C1 ist ein Thyristor mit integriertem Überspannungsschutz angegeben. Bei Anlegen einer Spannung in Fließrichtung werden bevorzugt im Bereich des pn-Übergangs 13 der zusätzlichen Zone 6 Ladungsträgerpaare gebildet, von denen sich die Elektronen zur anodenseitigen Emitterzone 8 und die Löcher zur dünnen Schicht 5 und dann über die Basiszone 3 zur Emittorelektrode bewegen. Dieser Strom verstärkt sich lawinenartig und leitet auf bekannte Weise die Zündung des Thyristors ein. Die zusätzliche Zone 6 bildet damit einen durch ihre Geometrie vorgegebenen Bereich mit vermindert er Durchbruchsspannung. Die dünne Schicht 5 hat die Aufgabe, die kathodenseitige Oberfläche des Thyristors vor Oberflächenladungen zu schützen. Zu diesem Zweck ist sie, wie bereits erwähnt, höher dotiert als die zusätzliche Zone 6 und die Basiszone 3. In DE 42 15 378 C1 ist außerdem ein bevorzugtes Verfahren zur Herstellung der oben beschriebenen Thyristorstruktur angegeben.

Anodenseitig ist außerdem in dem unterhalb der zusätzlichen Zone 6 liegenden Bereich des Halbleiterkörpers 1 eine Rekombinationszone 9 vorgesehen. Die Rekombinationszone 9 wird durch anodenseitige Bestrahlung des Halbleiterkörpers 1 mit nichidotierenden, hochenergetischen Teilchen, insbesondere  $\alpha$ -Teilchen oder Protonen, erzeugt. Durch die Bestrahlung werden anodenseitig Defekte im Kristallgitter erzeugt. Bei den Defekten handelt es sich insbesondere um Frenkel-Defekte und/oder Schottky-Defekte, wobei auch andere Defekte denkbar sind. Die räumliche Verteilung dieser Defekte definiert die Rekombinationszone 9.

Die vertikale Lage der Zone 9 im Halbleiterkörper 1 ist so gewählt, daß die dem pn-Übergang 13 zugeordnete Raumladungszone den geschädigten Bereich auch beim Anliegen der durch die zentrale BOD-Struktur 4/5/6 vorgegebenen maximalen Blockierspannung  $U_{BOD}$  nicht erreicht. Dies ist gewährleistet, wenn die strahlungsinduzierten Rekombinationszentren vorwiegend in der anodenseitigen Emitterzone 8 lokalisiert sind, die Rekombinationszone 9 also nicht oder nur unwesentlich in die anodenseitige Basiszone 2 hineinreicht. Im gezeigten Ausführungsbeispiel beträgt die Dicke d der Rekombinationszone 9 beispielsweise  $d \leq 150 \mu\text{m}$ .

während der die anodenseitige Basiszone 2 und die anodenseitige Emitterzone 8 trennende pn-Übergang 14 in einer Tiefe von typischerweise  $70\text{--}100 \mu\text{m}$  liegt. Die in lateraler Richtung gemessene Breite b der Rekombinationszone 9 sollte etwa dem 1-2-Fachen der Dicke  $d_B$  der anodenseitigen Basiszone 2 entsprechen, also etwa  $b \approx 1\text{--}4 \text{ mm}$  betragen.

Für die Bestrahlung wird eine niedrige Bestrahlungsdosis gewählt, da der Halbleiterkörper 1 durch die Bestrahlung nicht zu stark geschädigt werden soll. Die Bestrahlungsdosis liegt typischerweise im Bereich von etwa  $10^{10}$  bis  $10^{12} \text{ cm}^{-2}$  bei Bestrahlung mit  $\alpha$ -Teilchen und von  $10^{11}$  bis  $10^{13} \text{ cm}^{-2}$  bei Bestrahlung mit Protonen. Die Bestrahlungsenergie kann je nach gewünschter Lage der Rekombinationszone 9 in der anodenseitigen p-Emitterzone 8 bzw. n<sup>-</sup>-Basiszone 2 zwischen 5 und 20 MeV gewählt werden. Ist eine stärkere Schädigung des Kristalls erforderlich, können auch schwerere Teilchen wie zum Beispiel Sauerstoffionen zur Bestrahlung verwendet werden. Als Bestrahlungsquelle wird üblicherweise ein Hochenergieionenimplanter verwendet.

Nach der Bestrahlung wird üblicherweise ein Temperierschritt (zum Beispiel  $220^\circ\text{C}$ , 20 h) zur Stabilisierung der Rekombinationszentren 9 durchgeführt. Durch eine anodenseitige Maske kann der Bestrahlungsbereich gewählt werden. Da es sich hier nicht um sehr große Strukturen handelt, kann als Maske beispielsweise eine Metallochblende dienen.

Nachfolgend wird die Funktion der erfindungsgemäßen Thyristorstruktur erläutert.

Durch die anodenseitig eingebrachten hochenergetischen Teilchen in der Rekombinationszone 9 wird im Halbleiterkörper 1 ein vertikal inhomogenes Lebensdauerprofil erzeugt. In der Rekombinationszone 9 ist die Majoritätsladungsträgerlebensdauer im Vergleich zu den übrigen Bereichen stark reduziert. Die reduzierte Lebensdauer bewirkt eine verstärkte Rekombination der Ladungsträger und damit eine Verringerung der Transistorverstärkung  $\alpha_{pnp}$ , insbesondere bei hohen Temperaturen. Dadurch kann die starke Abnahme der Überkopfzündspannung zu höheren Temperaturen hin verschoben werden. Diese Temperaturverschiebung läßt sich sowohl durch die Stärke der zusätzlichen Lebensdauerabsenkung als auch durch deren Lage beeinflussen.

Thyristoren der genannten Art können entweder über eine Gateelektrode 12 stromgesteuert oder lichtgesteuert sein.

Fig. 2 zeigt die simulierte Strom-Spannungs-Kennlinie bei Überkopfzündung eines Thyristors nach DE 42 15 378 (a) im Vergleich zur erfindungsgemäßen Thyristorstruktur mit anodenseitiger Rekombinationszone (b) bei verschiedenen Temperaturen. In Fig. 2 (b) erkennt man, daß durch die Trägerlebensdauerabsenkung in der Rekombinationszone 9 die Überkopfzündspannung der Thyristoren im Vergleich zu (a) deutlich temperaturstabilisiert sind. Durch die gewählten Maßnahmen ist damit die Überkopfzündspannung der erfindungsgemäßen Thyristoren bis etwa  $140^\circ\text{C}$  weniger temperaturabhängig. Im Bereich der zulässigen Betriebstemperaturen verliert der Thyristor damit nicht seine Blockierfähigkeit.

## 2. Ausführungsbeispiel

Der oben beschriebene Thyristor zündet bereits vor dem Erreichen der durch die zentrale BOD-Struktur 4/5/6 vorgegebenen statischen Kippspannung  $U_{BOD}$ , wenn die zeitliche Änderung  $dU/dt$  der angelegten Blockierspannung U einen kritischen Wert von mehreren  $\text{kV}/\mu\text{s}$  übersteigt. Ausgelöst wird diese unter Umständen zur Zerstörung des Thyristors führende Fehlzündung durch den Aufbau der Raumladungszone am p-Basis/n-Basis-Übergang 13 und dem daraus re-

sultierenden, den Sperrstrom verstärkenden Verschiebungsstrom  $I_d = C_d \times dU/dt$  ( $C_d$ : spannungsabhängige Raumladungskapazität des pn-Übergangs 13). Durch Einbau einer Zone erhöhten Widerstandes in die kathodenseitige Basis 3 unterhalb des ersten Hilfthyristors 7/10 lässt sich die durch eine zu große  $dU/dt$ -Belastung hervorgerufene Fehlzündung gezielt in den Zentralbereich des Thyristors verlagern. Da das von der Zündung betroffene Volumen dann innerhalb des vom ersten Hilfthyristor 7/10 begrenzten Bereichs liegt, kann sich das Plasma, wie bei einer gesteuerten Zündung, großflächig und gleichförmig in radialer Richtung ausbreiten, ohne daß die Stromdichte kritische Werte erreicht (s. beispielsweise die Veröffentlichung von H.-J. Schulze et al. in Proceedings of the ISPSD 96, 197, Hawaii 1996).

Die Fig. 3 zeigt einen lichtzündbaren Thyristor mit integriertem  $dU/dt$ -Schutz im Querschnitt. Er ist rotationssymmetrisch bezüglich der senkrecht auf den beiden Hauptflächen 22/23 des Halbleiterkörpers 21 stehenden Achse 24 aufgebaut. Während die obere Hauptfläche 22 des scheibenförmigen Halbleiterkörpers 21 die randseitig verlaufende, mit Emitterkurzschlüssen versehene Kathodenmetallisierung 25 trägt, ist seine rückseitige Hauptfläche 23 vollständig mit einer als Anode dienenden Metallisierung 26 beschichtet. Der aus Silizium bestehende Halbleiterkörper 21 weist mehrere, unterschiedlich dotierte, jeweils durch Raumladungszonen voneinander getrennte Bereiche 27-30 auf. Diese Bereiche unterschiedlicher Leitfähigkeit bilden den n<sup>+</sup>-dotierten, kathodenseitigen Emitter 27, die p-dotierte Basis 28, die nur schwach elektronenleitende, anodenseitige Basis 29 sowie den von der Anodenmetallisierung 26 kontaktierten p<sup>+</sup>-Emitter 30.

Die mit AG (Amplysing Gate) bezeichneten, radial innerhalb der Kathodenmetallisierung 25 angeordneten Hilfthyristoren 1.-5.-AG bilden die Treiberstufen des Hauptthyristors. Sie weisen jeweils einen in der kathodenseitigen Basis 28 eingebetteten, n<sup>+</sup>-dotierten Hilfsemitter 31/31' und eine sowohl den Hilfsemitter 31/31' als auch die Basis 28 kontaktierende Metallisierung 32/32' auf. In einer die innersten drei Hilfthyristoren 1.-3.-AG ringförmig umschließenden Zone 33 ist die Dotierstoffkonzentration gegenüber den lateral angrenzenden Bereichen der kathodenseitigen Basis 28 verringert. Diese Ringzone 33 wirkt als Widerstand R, der den in der Basis 28 radial nach außen fließenden Zündstrom auf einen vorgegebenen Maximalwert begrenzt und so die Belastung der Struktur während der Einschaltphase vermindert.

Um die durch eine zu große  $dU/dt$ -Belastung hervorgerufene Zündung gezielt in den Zentralbereich des Thyristors zu verlagern, besitzt die kathodenseitige Basis 28 in einer unterhalb des n<sup>+</sup>-dotierten Bereichs 31 des ersten Hilfthyristors 1.-AG liegenden Ringzone 35 einen erhöhten Widerstand. Da die Breite L und der durch die Dotierstoffkonzentration gegebene Schichtwiderstand R<sub>□</sub> der Ringzone 35 sowohl die zur Zündung des ersten Hilfthyristors 1.-AG erforderliche minimale Strahlungsintensität als auch dessen  $dU/dt$ -Belastbarkeit entscheidend beeinflusst, lässt sich durch eine geeignete Dimensionierung dieser Parameter sicherstellen, daß die zentral gelegene Thyristorstruktur die größte  $dU/dt$ -Empfindlichkeit des Systems aufweist und sie denzufolge bei Überschreitung eines kritischen Wertes der Spannungssteilheit  $dU/dt$  zuerst zündet. Der Schichtwiderstand R<sub>□</sub> der etwa 200-600  $\mu\text{m}$  breiten Ringzone 35 beträgt typischerweise  $R_{\square} \approx 2000-5000 \Omega_{\square}$ . Er ist damit um einen Faktor 10-20 größer als der Schichtwiderstand des angrenzenden Basisbereichs ( $R_{\square}(p^+) 200-400 \Omega_{\square}$ ).

Die oben bereits beschriebene, in Fig. 4 vergrößert dargestellte BOD-Struktur des Thyristors dient dem Überspannungsschutz. Ihre lateralen Abmessungen sind mit  $D_i =$

350  $\mu\text{m}$  und  $D_a = 550 \mu\text{m}$  so bemessen, daß die Durchbruchspannung  $U_{BOD}$  bei Zimmertemperatur  $T = 23^\circ\text{C}$  etwa  $U_{BOD} \approx 7.8 \text{ kV}$  beträgt.

Um die durch die Geometrie der BOD-Struktur vorgegebene Spannung  $U_{BOD}$  ("Überkopfzündspannung") insbesondere bei höheren Betriebstemperaturen  $T \geq 80-90^\circ\text{C}$  weitgehend konstant zu halten, weist die anodenseitige Basis 29 in ihrem zentralen Bereich unterhalb der BOD-Struktur eine vertikal inhomogene Verteilung der Dichte strahlungsinduzierter Gitterdefekte auf. Die Lage dieser vergleichsweise schmalen, etwa 20  $\mu\text{m}$  breiten Zone 36 im Halbleiterkörper 21, d. h. ihr vertikaler Abstand von der anodenseitigen Hauptfläche 23 ist hierbei derart gewählt, daß die dem pn-Übergang 37 zugeordnete Raumladungszone den geschädigten Bereich 36 bei einer Blockierspannung  $U \leq U_{BOD}$  von etwa  $U \approx 8.2 \text{ kV}$  erreicht. Steigt die Blockierspannung U nur unwesentlich weiter an, liegt der geschädigte Bereich 36 vollständig innerhalb der Raumladungszone, wobei die strahlungsinduzierten Defekte nun nicht mehr als Rekombinationszentren, sondern als Generationszentren freier Ladungsträger wirken. Der zum Sperrstrom beitragende und exponentiell mit der Temperatur anwachsende Generationsstrom in der Raumladungszone vergrößert den Verstärkungsfaktor  $\alpha_{pnp}$  der durch die Schichten 28/29/30 gebildeten Transistorstruktur soweit, daß der Thyristor bei einer nur unwesentlich von der gewünschten Durchbruchspannung  $U_{BOD}$  abweichenden Blockierspannung zündet. Die vertikal inhomogene Verteilung der Defektdichte in der anodenseitigen Basis 29 erzeugt nun wieder durch eine Bestrahlung des Halbleiterkörpers 21 mit Protonen oder Heliumkernen. Außer dem schon beschriebenen Verfahren können insbesondere auch die aus der WO 92/17 907 bekannten Bestrahlungstechniken zur Anwendung kommen. Der Abstand  $b_D/2$  des Randes der Zone 36 von der Symmetriechse 24 beträgt typischerweise  $b_D/2 \leq (1-2) d_B$ , wobei  $d_B \approx 1-2 \text{ mm}$  die Breite der anodenseitigen Basis 29 bezeichnet.

In Fig. 5 ist die mit Hilfe eines Simulationsprogramms berechnete Temperaturabhängigkeit der Überkopfzündspannung  $U_{BOD}$  verschiedener Thyristoren dargestellt. Wie erwartet, steigt die Spannung  $U_{BOD}$  des nicht mit Protonen bestrahlten Thyristors aufgrund des positiven Temperaturkoeffizienten der Avalanche-Koeffizienten zunächst mit der Temperatur T kontinuierlich an, um ab einer Temperatur  $T \approx 120^\circ\text{C}$  schließlich steil abzufallen (negativer Temperaturkoeffizient der Transistorverstärkung  $\alpha_{pnp}$  als Folge des erhöhten Sperrstromes). Das Temperaturverhalten der BOD-Spannung verbessert sich deutlich, wenn der Thyristor im anodenseitigen Emitter eine durch Bestrahlung mit Protonen erzeugte Zone abgesenkter Lebensdauer aufweist (s. die als Dreiecke dargestellten Simulationswerte). Ähnlich verhält sich die BOD-Spannung eines Thyristors, bei dem die Zone abgesenkter Lebensdauer in der anodenseitigen Basis an einer Stelle lokalisiert ist, die die dem pn-Übergang 37 zugeordnete Raumladungszone, unabhängig von der anliegenden Blockierspannung, nicht erreicht. Die BOD-Spannung bleibt im Temperaturbereich  $80^\circ\text{C} \leq T \leq 140^\circ\text{C}$  annähernd konstant, falls die Zone erhöhter Defektdichte beim Anliegen der gewünschten Blockierspannung von beispielsweise  $U_{BOD} \approx 8.2 \text{ kV}$  innerhalb der vom p-Basis/n-Basis-Übergang 37 ausgehenden Raumladungszone liegt (s. die als Quadrate dargestellten Simulationswerte).

#### Patentansprüche

1. Thyristor bestehend aus einem Halbleiterkörper (1) – mit einer anodenseitigen Basiszone (2) vom ersten Leitungstyp und mindestens einer katoden-

seitigen Basiszone (3) vom entgegengesetzten, zweiten Leitungstyp,

- mit anodenseitigen und katodenseitigen Emitterzonen (7, 8),
- mit mindestens einem Bereich (6) in der katodenseitigen Basiszone (3), der durch seine Geometrie eine gegenüber den übrigen Bereichen in der katodenseitigen Basiszone (3) und dem Rand des Halbleiterkörpers (1) vermindernde Durchbruchspannung aufweist,

**dadurch gekennzeichnet**, daß anodenseitig unterhalb des Bereichs verminderter Durchbruchspannung (6) mindestens eine Rekombinationszone (9) mit verminderter Lebensdauer der freien Ladungsträger vorgesehen ist.

2. Thyristor nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Rekombinationszone (9) im wesentlichen aus Defekten im Kristallgitter besteht, welche durch Bestrahlung mit nichtdotierenden, hochenergetischen Teilchen erzeugt werden.

3. Thyristor nach Anspruch 2, dadurch gekennzeichnet, daß es sich bei den Defekten um Frenkel-Defekte und/oder Schottky-Defekte handelt.

4. Thyristor nach einem der Ansprüche 2 oder 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Defekte durch Bestrahlung des Halbleiterkörpers (1) mit geladenen Teilchen erzeugt worden sind.

5. Thyristor nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, daß die Defekte durch Bestrahlung des Halbleiterkörpers (1) mit Protonen oder  $\alpha$ -Teilchen erzeugt worden sind.

6. Thyristor nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß die Dosis der eingebrachten Teilchen für die Rekombinationszone (9) im Bereich von etwa  $10^{10}$  bis  $10^{12} \text{ cm}^{-2}$  bei Bestrahlung mit  $\alpha$ -Teilchen und von  $10^{11}$  bis  $10^{13} \text{ cm}^{-2}$  bei Bestrahlung mit Protonen gewählt wird.

7. Thyristor nach einem der Ansprüche 1–6, dadurch gekennzeichnet, daß die Geometrie der katodenseitigen Bereiche (4, 5, 6) im wesentlichen folgende Merkmale aufweist:

- eine Aussparung (4) ist im zentralen Bereich der kathodenseitigen Basiszone (3) angeordnet, innerhalb der an der Oberfläche des Halbleiterkörpers (1) eine gegenüber der kathodenseitigen Basiszone (3) dünnerne Schicht (5) des zweiten Leitungstyps angeordnet ist, welche mit der katodenseitigen Basiszone (3) verbunden ist,
- in der Aussparung (4) ist eine zusätzliche Zone (6) des zweiten Leitungstyps angeordnet, die an die dünne Schicht (5) angrenzt,
- die zusätzliche Zone (6) ist von der kathodenseitigen Basiszone (3) aus gesehen mindestens teilweise konkav ausgebildet.

8. Thyristor nach einem der Ansprüche 1–7, dadurch gekennzeichnet, daß die katodenseitigen Bereiche (4, 5, 6) sowie die kathodenseitige Basiszone (3) und die katodenseitigen Emitterzonen (7) in der Ebene der Oberfläche des Halbleiterkörpers (1) kreisförmig ausgebildet sind und der Thyristor ein Ringthyristor ist.

9. Thyristor nach einem der Ansprüche 1–8, dadurch gekennzeichnet, daß die Dotierungskonzentration der dünnen Schicht (5) sehr viel größer ist als die Dotierungskonzentrationen der kathodenseitigen Basiszone (3) und der zusätzlichen Schicht (6).

10. Thyristor nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, daß die anodenseitige Basiszone (29) in einer durch eine Haupflächennormale des

Halbleiterkörpers (21) definierten vertikalen Richtung eine inhomogene Verteilung der Dichte an Rekombinations- und Generationszentren freier Ladungsträger aufweist.

11. Thyristor nach Anspruch 10, dadurch gekennzeichnet, daß die Dichte der Rekombinations- und Generationszentren innerhalb eines ersten Bereichs (36) der anodenseitigen Basiszone (29) jeweils höher ist als in den sich in vertikaler Richtung beidseitig anschließenden und jeweils bis zum benachbarten pn-Übergang erstreckenden Bereichen der anodenseitigen Basiszone (29)

12. Thyristor nach Anspruch 11, dadurch gekennzeichnet, daß die Abmessung b des ersten Bereichs (36) in lateraler Richtung der Bedingung  $b < (1-4)d_B$  genügt, wobei  $d_B$  die vertikale Dicke der anodenseitigen Basiszone (29) bezeichnet.

13. Thyristor nach Anspruch 11 oder 12, dadurch gekennzeichnet, daß die vertikale Lage des ersten Bereichs (36) innerhalb der anodenseitigen Basiszone (29) derart gewählt ist, daß die Raumladungszone des den beiden Basiszonen (28, 29) zugeordneten pn-Übergangs (37) den ersten Bereich (36) bei einer vorgegebenen Differenz eines Kathoden- und eines Anodenpotentials als erreicht.

14. Thyristor nach Anspruch 13, dadurch gekennzeichnet, daß die vorgegebene Potentialdifferenz annähernd der vermindernden Durchbruchspannung ( $U_{BOD}$ ) entspricht.

15. Herstellungsverfahren für einen Thyristor nach einem der Ansprüche 1 bis 9, dadurch gekennzeichnet, daß folgende Verfahrensschritte zur Erzeugung der Rekombinationszone (9) durchgeführt werden:

- anodenseitige Maskierung des Halbleiterkörpers (1), beispielsweise durch eine Metallochblende,
- anodenseitige Bestrahlung,
- abschließender Temperaturschritt zur Stabilisierung der Rekombinationszone (9).

Hierzu 5 Seite(n) Zeichnungen

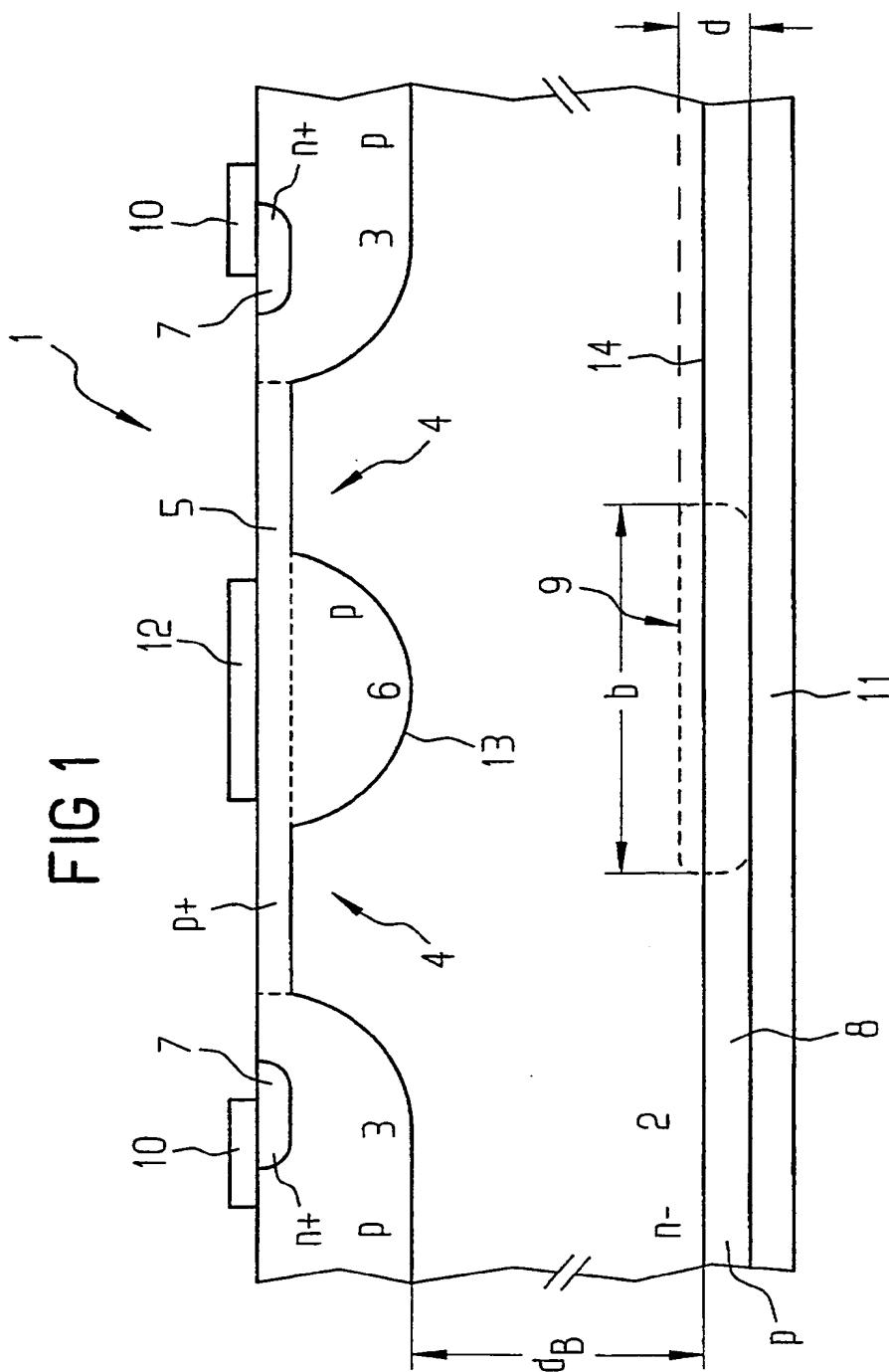


FIG 2A

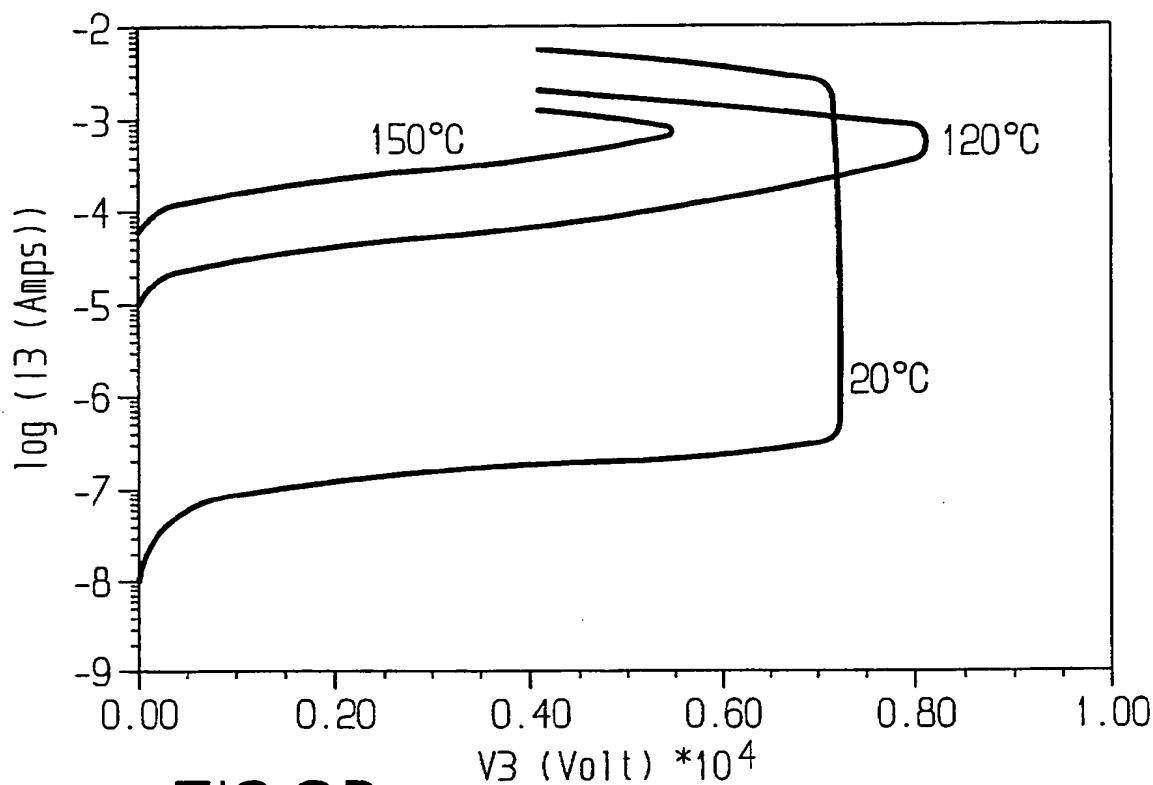
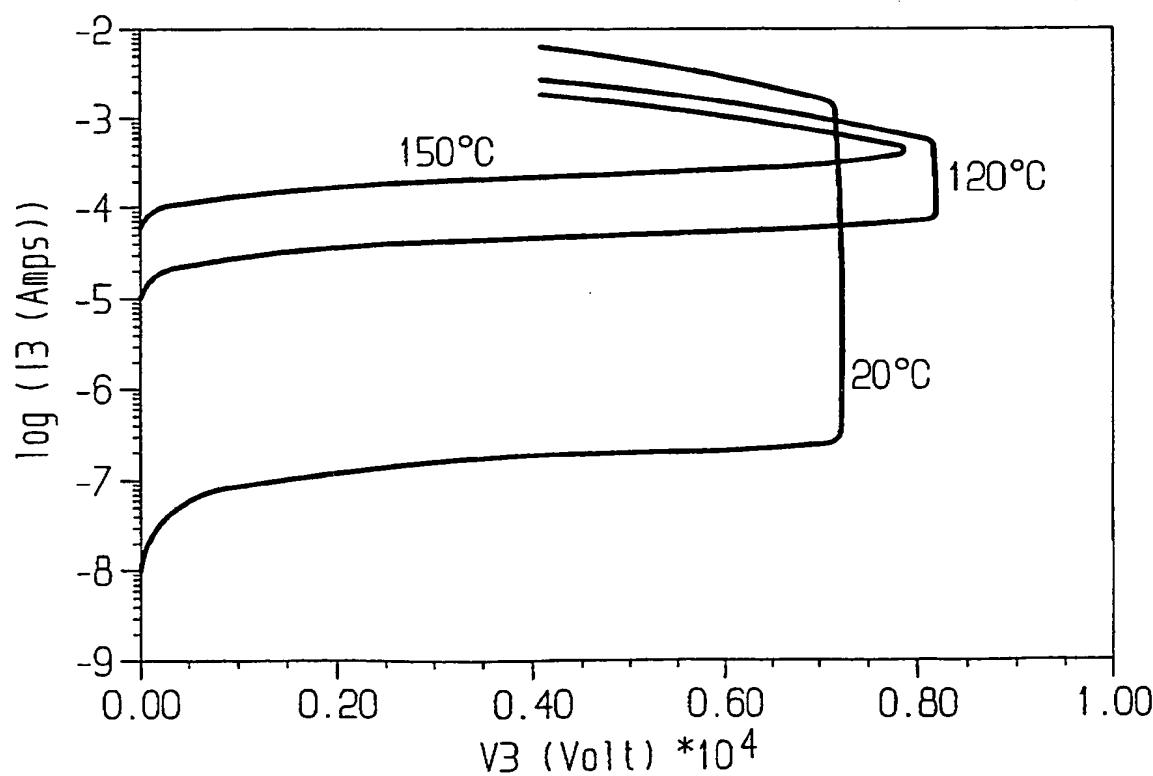


FIG 2B



四

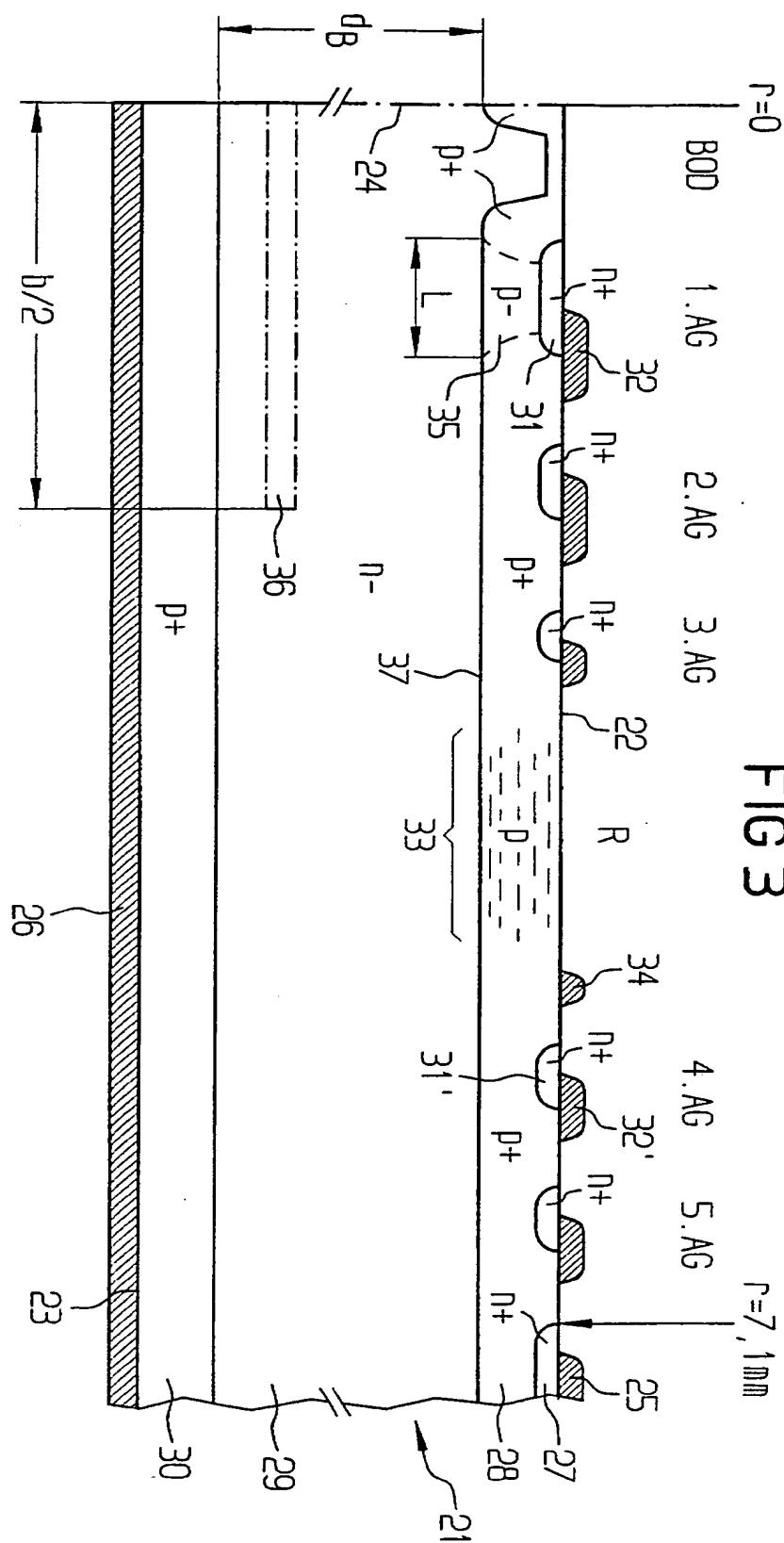


FIG 4

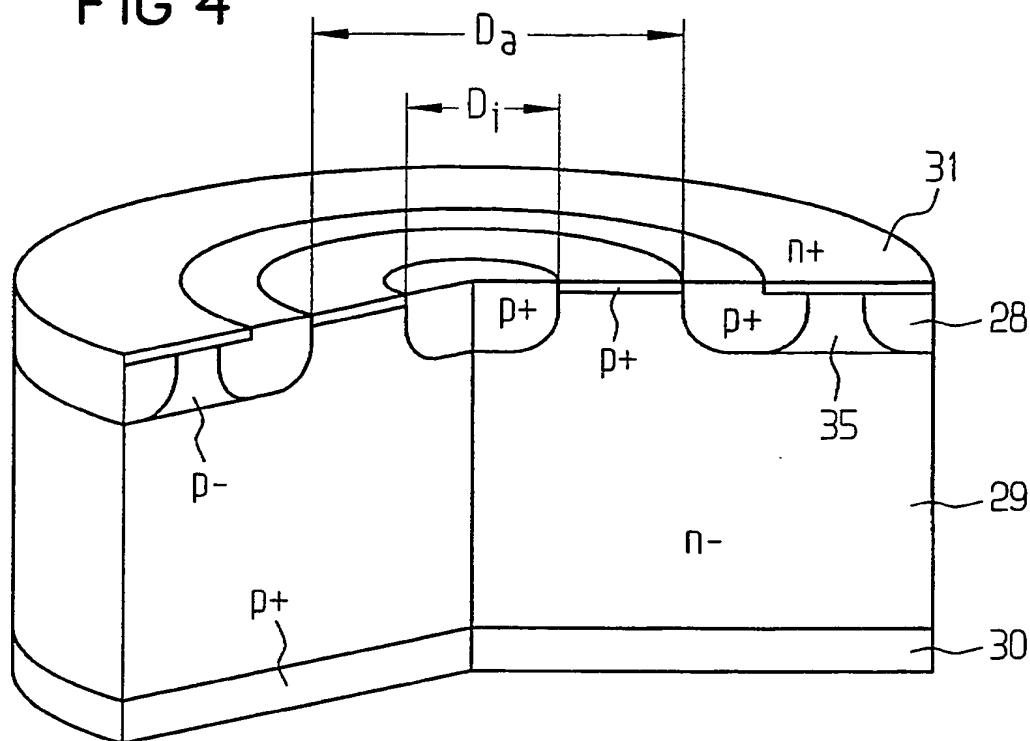


FIG 5

